

Міністерство освіти і науки України

Криворізький національний університет

Електротехнічний факультет

Пояснювальна записка

**до кваліфікаційної роботи бакалавра
за спеціальністю 141 - Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка**

ТЕМА РОБОТИ:

**Модельні дослідження багатодвигунного асинхронного електропривода з
векторним керуванням**

Виконав: студент групи ЕЕМ-22ск

Ростислав СІЯНКО

Керівник випускної роботи _____

к.т.н., доц. Ігор СІНЧУК

Нормо контролер _____

к.т.н., доц. Ігор СІНЧУК

Декан ЕТФ _____

к.т.н., доц. Владислав ФЕДОТОВ

Гарант освітньої програми _____

к.т.н., доц. Ігор ПЕРЕСУНЬКО

Кривий Рір 2025 р.

Криворізький національний університет

Факультет: електротехнічний

Освітній рівень: бакалавр

Спеціальність: 141 - Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

СІЯНКО Ростислав Володимирович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи: Модельні дослідження багатодвигунного асинхронного
електропривода з векторним керуванням

1. Термін подання студентом роботи: 16 червня 2025 р.
2. Мета та завдання кваліфікаційної роботи: Метою є модельні дослідження багатодвигунного асинхронного електропривода з векторним керуванням.
3. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які необхідно розробити) I. Математична модель багатодвигунного асинхронного частотно – регульованого електроприводу з системою векторного керування; II. Математична модель системи керування багатодвигунного асинхронного частотно – регульованого електроприводу; III. Моделювання режимів роботи багатодвигунного асинхронного частотно – регульованого електроприводу з системою векторного керування.
4. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) I. Структура багатодвигунного безконтактного частотно – регульованого електроприводу; II. Структурна схема моделі асинхронного двигуна; III. Структура каналу регулювання; IV. Структурна схема математичної моделі багатодвигунного асинхронного частотно – регульованого електроприводу; V. Електромеханічні характеристики асинхронного електроприводу; VI. Годографи потокозчеплень.

5. Консультанти розділів роботи

Розділ	Ім'я, прізвище консультанта	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
I	Ігор СІНЧУК		
II	Ігор СІНЧУК		
III	Ігор СІНЧУК		

6. Календарний план

№	Етапи роботи	Термін
1	Структура багатодвигунних електроприводів	15.05.25
2	Математичний опис асинхронного двигуна	19.05.25
3	Математична модель блоку ШІМ	21.05.25
4	Математична модель перетворювача	26.05.25
5	Синтез структури і розрахунок регуляторів	31.05.25
6	Моделювання режимів роботи	04.05.25
7	Математична модель електроприводу	10.06.25
8	Дослідження роботи електроприводу	14.06.25

Дата видання завдання 12.05.2025 р.

Здобувач вищої освіти _____
(підпис)

Ростислав СІЯНКО
(Ім'я, прізвище)

Керівник роботи _____
(підпис)

Ігор СІНЧУК
(Ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до випускової атестаційної роботи бакалавра на тему: «Модельні дослідження багатодвигунного асинхронного електропривода з векторним керуванням»

44 с., 15 рис., 21 літературних джерел

Бакалаврська дипломна робота присвячена роботі тягового електроприводу рудникових електровозів з застосуванням векторного керування при умовах нерівномірного навантаження з можливістю змінювати сигнали завдання індивідуально для кожного електроприводу.

Об'єкт дослідження – багатодвигунний електропривод електровозу з векторним керуванням.

Мета роботи – дослідити можливості роботи багатодвигунного частотно – регульованого електроприводу з системою векторного керування на розрахунково – математичній моделі у середовищі Matlab Simulink.

Практичне значення полягає у застосуванні на нижньому рівні векторного керування для тягових двигунів електровозів, а для верхнього рівню сформулювати якісні сигнали завдання швидкості обертання індивідуального для кожного з електроприводів на основі математичного апарату нечіткої логіки.

Пояснювальна записка до бакалаврської роботи складається з: анотації, , розділу, висновків, літератури.

У анотації зазначено основні характеристики, структуру, перелік наявного електротехнічного обладнання електровозу.

У роботі розглядається структура, методи і засоби, що необхідні для сталого і надійного електропостачання та функціонування рудникових електровозів, описано математичний апарат роботи асинхронних

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.250-09	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

електроприводів, розроблено та побудовано математичну модель ШІМ, а також вирішено наукову задачу на основі експертних оцінок системи керування тягового електроприводу електровозу на основі теорії нечітких множин і нечіткої логіки.

У висновках приведено аналіз проведеної роботи та отримані відповідні очікувані результати у бакалаврській роботі.

АСИНХРОННИЙ ДВИГУН, ЕЛЕКТРОПРИВОД, ВЕКТОРНЕ КЕРУВАННЯ,
МОДЕЛЮВАННЯ

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.250-09	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зміст

Вступ.....	7
Розділ 1. Математична модель багатодвигунного асинхронного частотно – регульованого електроприводу з системою векторного керування	9
1.1. Структура багатодвигунних асинхронних частотно – регульованих тягових електроприводів рудникових електровозів.....	9
1.2. Математичний опис асинхронного двигуна.....	11
1.3. Математична модель блоку ШІМ.....	19
Розділ 2. Математична модель системи керування багатодвигунного асинхронного частотно – регульованого електроприводу	21
2.1. Математична модель перетворювача координат системи векторного керування перетворювача частоти	21
2.2. Синтез структури і розрахунок регуляторів системи векторного керування	25
Розділ 3. Моделювання режимів роботи багатодвигунного асинхронного частотно – регульованого електроприводу з системою векторного керування	32
3.1. Математична модель багатодвигунного асинхронно частотно – регульованого електроприводу з системою векторного керування	32
3.2. Дослідження роботи багатодвигунного асинхронного частотно – регульованого електроприводу з системою векторного керування на математичній моделі	34
Висновки	41
Список використаних джерел	43

Вступ

Система векторного керування, що виконана по двоканальній схемі регулювання по потокозчепленню ротору і електромагнітному моменту двигуна з двоконтурним підлеглим регулюванням у кожному каналі, забезпечує високу якість керування асинхронним електроприводом при змінах як керуючого, так і збуджуючих дій.

При незмінному сигналі задання швидкості обертання роторів АД і зростанні навантаження на електроприводи спостерігається відключення фактичної швидкості обертання від заданого значення. Утримати на заданому рівні швидкості обертання електроприводів можливо шляхом зміни самого сигналу задання. У випадку нерівномірного навантаження на електроприводи необхідно змінювати сигнал задання індивідуального для кожного електроприводу.

Робота багатодвигунного тягового електроприводу рудникових електровозів, як правило, протікає в умовах нерівномірного навантаження на тягові двигуни внаслідок можливої декотрої нерівності діаметрів колісних пар, відмінності характеристик самих двигунів.

В залежності від профілю шляху змінюється розподіл ваги електровозу на колісні пари, а зміна умов роботи впливає на коефіцієнт зчеплення колісних пар з рельсами. Оскільки тягові приводи рудникових електровозів механічно зв'язані між собою через рельсовий шлях, то при виконанні умови зчеплення коліс з рельсами, проблема не узгодження швидкості обертання колісних пар не стоїть, однак при не виконанні даної умови, вимагається розподілити навантаження між тяговими двигунами шляхом зміни по зовнішньому контуру регулювання електромагнітного моменту сигналу задання швидкості обертання роторів АД індивідуально для кожного електроприводу.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.250-09	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розподіл навантаження між тяговими двигунами рудникових електровозів з урахуванням усіх специфічних особливостей його роботи класичними методами виконати важко.

Дана задача може бути вирішена на основі експертних оцінок системи керування побудованої, на основі теорії нечітких множин і не чіткої логіки.

Таким чином, система керування багатодвигунним асинхронним тяговим електроприводом рудникових електровозів повинна мати на нижньому рівні систему векторного керування тяговими двигунами, а на верхньому рівні систему формування сигналів задання швидкості обертання індивідуально для кожного електроприводу з застосуванням апарату нечіткої логіки.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.250-09	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розділ 1. Математична модель багатодвигунного асинхронного частотно – регульованого електроприводу з системою векторного керування

1.1. Структура багатодвигунних асинхронних частотно – регульованих тягових електроприводів рудникових електровозів

Загальна структура безконтактного частотно – регульованого багатодвигунного тягового електроприводу рудникових електровозів представлена на рис. 1.1.1 Приведена схема складається з: силового перетворювача (СП), що складається з індуктивного (L_ϕ) і ємнісного (C_ϕ) фільтрів; ланцюга скидання рекуперованої енергії у баластний резистор R_B і трифазного автономного інвертора напруги (АІН). Силкові каскади перетворювача пов'язані з системою керування драйверами, котрі забезпечують алгоритм безпечної комутації і захист транзисторів від перевантажень.

Наявність тахогенератору (ТГ) є необов'язковою у випадку реалізації бездатчикового керування електроприводами – інформація про швидкість обертання роторів тягових АД розраховується у реальному часі у математичній моделі об'єкту управління. Дана схема перетворювача є універсальною для реалізації на її основі різноманітних законів частотного керування, а структура багатодвигунного тягового електроприводу є універсальною для побудови на її основі математичних моделей роботи приводу рудникових електровозів.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.250-09						
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата							
Розробив		Сіянко РВ			Розділ 1			Лім.	Лист	Листів	
Перевірив		Сінчук І.О.								9	12
Реценз.								КНУ ЕЕМ-22ск			
Н. Контр.		Сінчук І.О.									
Затвердив		Пересунько І.І.									

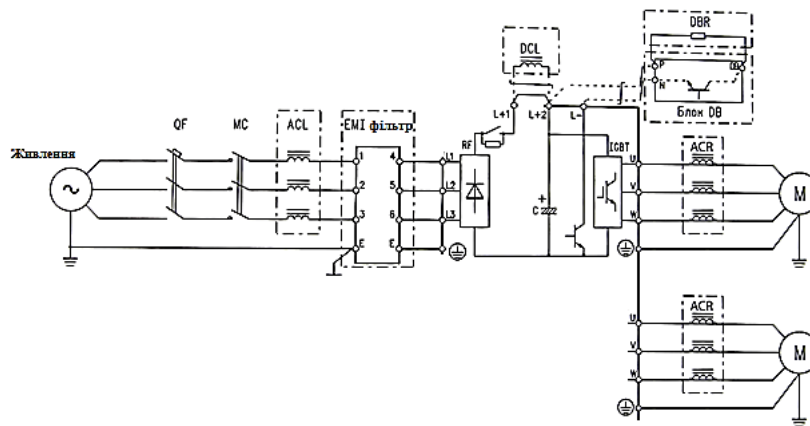


Рис. 1.1.1 Структура багатодвигунного безконтактного частотно —
регульованого тягового електроприводу рудникових електровозів

1.2. Математичний опис асинхронного двигуна

При математичному описі асинхронної машини застосовуються загальноприйняті допущення й обмеження [6, 7, 10, 11, 12, 19], а саме: магнітна система машини не насичена; втрати у сталі відсутні; фазні обмотки машини є симетричними і зсунуті суворо на 120^0 (для трифазних машин); магніторушійні сили обмоток і магнітні поля розподілені уздовж кола повітряного зазору згідно синусоїдального закону; величина повітряного зазору постійна; ротор машини симетричний; реальна розподілена обмотка замінена еквівалентною зосередженою, що створює ту саму магніторухому силу.

Сучасний рівень розвитку обчислювальної техніки надає принципову можливість, з урахуванням зроблених допущень, будувати модель асинхронного двигуна у фазних координатах. Однак, структурна схема моделі, при цьому, отримана є досить складною через наявність змінних коефіцієнтів у рівняннях зв'язку фазних струмів і потокозчеплення машини, що залежать від миттєвого значення кута повороту ротору відносно магнітних вісей статора двигуна.

З ціллю спрощення математичних моделей систему рівнянь трифазної асинхронної машини, котрі записані у фазних координатах, прийнято представляти у ортогональній системі координат (х-у), що обертається у просторі у загальному випадку з довільною кутовою швидкістю ω_k [10].

Еквівалентні напруги статора у системі координат (х-у) пов'язані з фазними напругами трифазної машини наступними співвідношеннями:

$$U_{sx} = \frac{2}{3} \left[U_{\Phi A} \cos \omega_k t + U_{\Phi B} \cos \left(\omega_k t - \frac{2\pi}{3} \right) + U_{\Phi C} \left(\omega_k t + \frac{2\pi}{3} \right) \right]$$
$$U_{sy} = -\frac{2}{3} \left[U_{\Phi A} \sin \omega_k t + U_{\Phi B} \sin \left(\omega_k t - \frac{2\pi}{3} \right) + U_{\Phi C} \left(\omega_k t + \frac{2\pi}{3} \right) \right]$$

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.250-09	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Аналогічні співвідношення пов'язують еквівалентні значення струмів і потокозчеплень двигуна з відповідними фазними значеннями змінних.

Підставляючи у ці рівняння вирази для реальних фазних напруг:

$$U_{\Phi A} = U_m \cos(\omega_0 t + \varphi_0);$$

$$U_{\Phi B} = U_m \cos\left(\omega_0 t - \frac{2\pi}{3} + \varphi_0\right);$$

$$U_{\Phi C} = U_m \cos\left(\omega_0 t + \frac{2\pi}{3} + \varphi_0\right),$$

можна отримати вирази для складових напруг у еквівалентній двофазній системі координат:

$$U_{sx} = U_m \cos[(\omega_0 - \omega_k)t + \varphi_0]$$

$$U_{sy} = U_m \sin[(\omega_0 - \omega_k)t + \varphi_0],$$

де U_m – амплітудне значення фазної напруги; ω_0 – частота обертання поля статора двигуна у просторі; φ_0 – початкова фаза напруги фази А двигуна.

У залежності від вибору швидкості обертання системи координат ω_k рівняння електромагнітної рівноваги асинхронного двигуна дещо видозмінюються, однак механічна характеристика двигуна, розрахована у системі координат, що обертається у просторі з будь – якою кутовою швидкістю ω_k змін не зазнає.

При побудові систем векторного керування асинхронним електроприводом на основі перетворювачів частоти з широтно – імпульсною модуляцією із мікропроцесорним керуванням система координат (u-v), що обертаються відносно статора двигуна з синхронною швидкістю найбільш краща, оскільки у ній амплітуда і частота вихідної напруги перетворювача частоти, що прикладений до статорних обмоток, присутній у явному вигляді.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.250-09	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахункові операції для виявлення неспостережних координат двигуна тут також значно спрощені через відсутність у статорних і роторних змінних гармонічних складових.

Аналогічно решта статорних і роторних змінних у системі координат $(u - v)$ представлені їх амплітудні значення і не мають гармонічних складових.

Система координат електромагнітної рівноваги асинхронного двигуна у формі Коші для системи координат $(u - v)$ може бути представлена наступним чином [92]:

$$\frac{d\Psi_{su}}{dt} = U_{su} - R_s i_{su} + \omega_k \Psi_{sv};$$

$$\frac{d\Psi_{sv}}{dt} = U_{sv} - R_s i_{sv} - \omega_k \Psi_{su};$$

$$\frac{d\Psi_{ru}}{dt} = -R_r i_{ru} + (\omega_k - \omega) \Psi_{rv};$$

$$\frac{d\Psi_{rv}}{dt} = -R_r i_{rv} - (\omega_k - \omega) \Psi_{ru};$$

де Ψ_{su}, Ψ_{sv} – потокозчеплення еквівалентних статорних контурів; Ψ_{ru}, Ψ_{rv} – потокозчеплення еквівалентних роторних контурів; i_{su}, i_{sv} – еквівалентні струми статора; i_{ru}, i_{rv} – еквівалентні струми ротора; R_s, R_r – активні опори фазних обмоток статора і ротора; ω – частота обертання ротора двигуна.

Для розв’язання даної системи рівнянь її слід доповнити рівняннями зв’язку еквівалентних струмів і потокозчеплень машини. У системі координат $(u - v)$ еквівалентні потокозчеплення і струми статора і ротора двигуна зв’язані один з одним наступними рівняннями:

$$\Psi_{su} = L_s i_{su} + L_m i_{ru};$$

$$\Psi_{sv} = L_s i_{sv} + L_m i_{rv};$$

$$\Psi_{ru} = L_m i_{su} + L_r i_{ru};$$

$$\Psi_{rv} = L_m i_{sv} + L_r i_{rv},$$

де L_m – взаємна індуктивність, що враховує магнітний зв'язок однієї фази статора з трьома обмотками ротора і відповідно однієї обмотки ротора з трьома обмотками статора; $L_s = L_m + L_{\sigma s}$ – індуктивність обмотки статора, що враховує магнітний зв'язок з двома іншими обмотками статора; $L_r = L_m + L_{\sigma r}$ – індуктивність обмотки ротора, що враховує магнітний зв'язок з двома іншими обмотками ротора; $L_{\sigma s}$ – індуктивність розсіювання фазної обмотки статора; $L_{\sigma r}$ – індуктивність розсіювання фазної обмотки ротора.

Коефіцієнти у рівняннях зв'язку між еквівалентними струмами і потокозчепленнями не залежать від миттєвого значення кута повороту ротора відносно магнітної вісі статора двигуна. Для побудови математичної моделі асинхронного двигуна зручніше користуватись зворотними залежностями, тобто залежностями $i = f(\Psi)$, котрі мають вид:

$$i_{su} = \frac{1}{\sigma L_s} \Psi_{su} - \frac{L_m}{\sigma L_s L_r} \Psi_{ru};$$

$$i_{sv} = \frac{1}{\sigma L_s} \Psi_{sv} - \frac{L_m}{\sigma L_s L_r} \Psi_{rv};$$

$$i_{ru} = -\frac{L_m}{\sigma L_s L_r} \Psi_{su} + \frac{1}{\sigma L_r} \Psi_{ru};$$

$$i_{rv} = -\frac{L_m}{\sigma L_s L_r} \Psi_{sv} + \frac{1}{\sigma L_r} \Psi_{rv},$$

де $\sigma = \left(1 - \frac{L_m^2}{L_s L_r}\right)$ – коефіцієнт розсіювання двигуна.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.250-09	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вираз для електромагнітного моменту асинхронного двигуну у ортогональній системі координат представляє векторний добуток будь – якої пари просторових векторів струмів і потокозчеплень. Таким чином, у системі координат $(u - v)$ можливо застосувати шість рівнянь для пошуку електромагнітного моменту двигуна. При застосуванні будь – якого з цих виразів результат буде одним і тим самим.

$$M = \frac{3}{2} p_n (\Psi_{su} i_{sv} - \Psi_{sv} i_{su});$$

$$M = \frac{3}{2} p_n (i_{ru} \Psi_{rv} - i_{rv} \Psi_{ru});$$

$$M = \frac{3}{2} L_m p_n (i_{ru} i_{sv} - i_{rv} i_{su});$$

$$M = \frac{3}{2} \frac{L_m}{\sigma L_s L_r} p_n (\Psi_{ru} \Psi_{sv} - \Psi_{rv} \Psi_{su});$$

$$M = \frac{3}{2} \frac{L_m}{L_s} p_n (i_{ru} \Psi_{sv} - i_{rv} \Psi_{su})$$

$$M = \frac{3}{2} \frac{L_m}{L_r} p_n (\Psi_{ru} i_{sv} - \Psi_{rv} i_{su}),$$

де p_n – число пар полюсів асинхронного двигуна.

Вибір того або іншого виду рівняння для електромагнітного моменту здійснюється з умови раціональної побудови структурної схеми математичної моделі.

Рівняння руху двигуна у одно масовій механічній системі має вид:

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{J_{\Sigma}} (M - M_c),$$

де J_{Σ} – сумарний момент інерції ротору двигуна і механізму, M_c – статичний момент навантаження електроприводу.

Для зручності, при побудові математичної моделі, слід рівняння, що описують електромеханічні процеси, що протікають у асинхронному двигуні, представити у операторному вигляді, а саме:

$$p\Psi_{su} = U_{su} - R_s I_{su} + \omega_0 \Psi_{sv};$$

$$p\Psi_{sv} = U_{sv} - R_s I_{sv} - \omega_0 \Psi_{su}.$$

Операторні рівняння роторного ланцюга і рівняння зв'язку між струмами і потокозчепленнями статора і ротора були перетворені з ціллю виключення змінних стану роторного ланцюга (складових струму і потокозчеплення ротору). У результаті була отримана наступна система рівнянь:

$$I_{su} = \frac{T_r p + 1}{L_s(\sigma T_r p + 1)} \Psi_{su} - \frac{T_r}{L_s(\sigma T_r p + 1)} (\Psi_{sv} - \sigma L_s I_{sv}) \cdot (\omega_0 - \omega_r);$$

$$I_{sv} = \frac{T_r p + 1}{L_s(\sigma T_r p + 1)} \Psi_{sv} + \frac{T_r}{L_s(\sigma T_r p + 1)} (\Psi_{su} - \sigma L_s I_{su}) \cdot (\omega_0 - \omega_r).$$

де ω_r – частота обертання ротору двигуна; $T_r = \frac{L_r}{R_r}$ – електромагнітна постійна часу роторного ланцюга двигуна.

Операторні рівняння механічної частини електроприводу мають вид:

$$M_e = \frac{3}{2} p_n (\Psi_{su} I_{sv} - \Psi_{sv} I_{su});$$

$$p\omega_r = \frac{1}{J_\Sigma} (M_e - M_c),$$

де M_c – статичний момент навантаження електропривода.

Складові напруги статора двигуна U_{su} і U_{sv} можуть бути визначені наступним чином:

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.250-09	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

$$U_{su} = U_{sm} \cos \phi_0;$$

$$U_{sv} = U_{sm} \sin \phi_0;$$

де U_{sm} – амплітудне значення статорної напруги.

Складові напруги статора двигуна U_{su} і U_{sv} представляють собою постійні величини і визначаються тільки початковою фазою ϕ_0 . Якщо прийняти $\phi_0 = 0$, то:

$$U_{su} = U_m;$$

$$U_{sv} = 0.$$

Математична модель асинхронного двигуна у нерухомій відносно поля статора системі координат $(u - v)$ представлена на рис. 1.2.1:

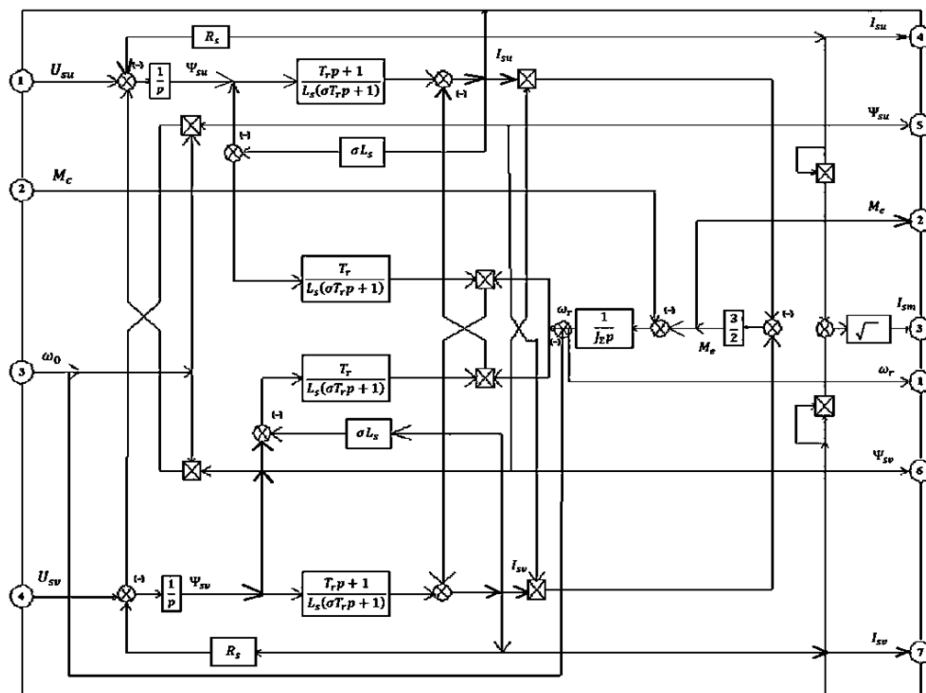


Рис. 1.2.1 Структурна схема моделі асинхронного двигуна у координатах, з змінними стану статорного ланцюга

Вхідними керованими діями є амплітуда U_m , початкова фаза ϕ_0 і вихідна частота $\omega_0 = 2\pi f_c$ напруги джерела, а збуджуючою дією – статичний

момент на валу двигуна M_c . Ненульові початкові умови у даній моделі відсутні.

Основними вихідними параметрами даної моделі є частота обертання ротора двигуна ω_r , електромагнітний момент двигуна M_e і амплітудне значення струму статора I_{sm} , допоміжними вихідними параметрами є складові струму I_{sv}, I_{su} і потокозчеплення статора Ψ_{su}, Ψ_{sv} по вісях $(u - v)$.

Розрахунок параметрів асинхронних машин виконано в абсолютних одиницях. За основу розрахунку було взято двигуни AIP71B4УЗ, що застосовуються у лабораторному експериментальному макеті багатодвигунного асинхронно частотно – регульованого тягового електроприводу рудникових електровозів.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.250-09	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

таким чином у криву трикутного виду одиничної амплітуди змінного знаку з частотою ω_H .

Добуток прямокутних знакозмінних імпульсів з кривою трикутного знакозмінної напруги після сумування з одиницею нададуть, що вимагається пилкоподібну напругу з заданою несучою частотою.

Сигнали ланцюгів $\sin(\omega_0 t)$ і $\cos(\omega_0 t)$ приводяться до трифазної системи координат за допомогою перетворень Парка – Горева, після чого отримуємо синусоїдальні напруги одиничної амплітуди з заданою частотою обертання роторів АД і зсунуті один відносно одного на 120° . Додатні на півхвилі синусоїд разом з від’ємними на півхвилях помноженими на мінус одиницю накладаються на пилкоподібну напругу.

Накладання на півхвиль синусоїд і пилкоподібної напруги здійснюється зі значними значеннями коефіцієнтів підсилення з ціллю отримання після блоку обмеження з нижнім значенням нуль і верхнім значенням одиниця імпульсів близьких до прямокутних. Виходи суматорів пилкоподібної напруги і від’ємних на півхвиль синусоїд помножених на мінус одиницю також множаться на мінус одиницю для отримання від’ємних прямокутних імпульсів відповідних від’ємним на півхвилям синусоїд.

Трифазні синусоїди отримані з прямокутних імпульсів приводяться через обернене перетворення Парку – Горева до двофазної системи координат і після множення на амплітудне значення напруги отримуємо сигнали U_{su} і U_{sv} отримані широтно – імпульсною модуляцією.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.250-09	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розділ 2. Математична модель системи керування багатодвигунного асинхронного частотно – регульованого електроприводу

2.1. Математична модель перетворювача координат системи векторного керування перетворювача частоти

Система векторного керування асинхронним електроприводом, побудована за принципом підлеглого керування має ряд специфічних особливостей, оскільки, асинхронний двигун є багатоканальним об'єктом з перехресними зв'язками між каналами і з нелінійностями у вигляді декількох змінних [16].

Розділення змінних можливо здійснити шляхом переведення моделі у систему координат, що орієнтована по вектору потокозчеплення ротору двигуна.

У цьому випадку модуль вектору потокозчеплення ротора двигуна визначається проекцією вектору струму статора на вісь, зв'язану з вектором потокозчеплення ротору, а електромагнітний момент двигуна – добутком модулю вектору потокозчеплення ротору на другу (ортогональну) складову вектору струму статора.

В даній системі координат можливо побудувати двоканальну систему регулювання електроприводом з незалежним керуванням потокозчеплення ротору і електромагнітним моментом асинхронного двигуна [17].

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.250-09			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дат				
Розробив	Сіянюк РВ				Розділ 2	Літ.	Лист	Листів
Перевірив	Сінчук І.О.						21	10
Реценз.								
Н. Контр.	Сінчук І.О.							
Затвердив	Пересунько І.І.					КНУ ЕЕМ-22ск		

Розрахунок модулю вектору потокозчеплення ротору двигуна здійснюється за формулою:

$$\Psi_{rm} = \sqrt{\Psi_{ru}^2 + \Psi_{rv}^2}$$

Для переведення змінних у систему координат (1 - 2) визначаються миттєві значення косинуса і синуса кута γ :

$$\cos\gamma = \frac{\Psi_{ru}}{\Psi_{rm}}, \sin\gamma = \frac{\Psi_{rv}}{\Psi_{rm}}$$

Обидві системи координат $(u - v)$, і (1 - 2) обертаються у просторі з однаковою частотою ω_0 , тобто не рухомі один відносно одного, тоді координатне перетворення являє собою поворот однієї системи координат по відношенню до другої на деякий просторовий кут γ до суміщення вісі v з вектором потокозчеплення ротору.

Так, як обидві системи координат нерухомі відносно один одного, $\cos\gamma$ і $\sin\gamma$ являють собою числові значення відповідних тригонометричних функцій. Переведення складових вектору струму статора із системи координат $(u - v)$ у систему координат (1 - 2) здійснюється за допомогою рівнянь:

$$i_{s1} = i_{su}\cos\gamma + i_{sv}\sin\gamma;$$

$$i_{s2} = -i_{su}\sin\gamma + i_{sv}\cos\gamma.$$

Далі будується двоканальна система регулювання. Отримані значення складових вектору статора відповідно визначають величину модулю вектору потокозчеплення ротору (складова i_{s1}) і величину електромагнітного моменту двигуна (складова i_{s2}). Після проведених перетворень дані складові вектору струму статора двигуна не містять гармонічних складових, а являють собою амплітудні значення і можуть бути використані у якості сигналів зворотного

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.250-09	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зв'язку у каналі регулювання потокозчеплення ротору і у каналі регулювання частоти обертання асинхронного електроприводу.

Кожний з каналів регулювання будується за принципом підлеглого регулювання.

Канал регулювання потокозчеплення ротору двигуна мають внутрішній контур регулювання складової струму статора i_{s1} з ПІ – регулятором РШ1 і зовнішній контур регулювання модулю потокозчеплення Ψ_{rm} також з ПІ – регулятором РΨ. На вході зовнішнього контуру діє постійне завдання, що відповідає номінальному потокозчепленню ротору двигуна.

Канал регулювання електромагнітного моменту і частоти обертання асинхронного електродвигуна має внутрішній контур регулювання складової струму статора i_{s2} з ПІ – регулятором РС2 і зовнішній контур регулювання швидкості ω з ПІ – регулятором РС. На вході зовнішнього контуру діє задатчик інтенсивності.

Вихідні сигнали регуляторів РС1 і РС2 пропорційні складовим вектору напруги статора двигуна U_{s1} і U_{s2} . Зворотнє перетворення координат для переходу із системи координат (1 - 2) у систему координат ($u - v$) має вигляд:

$$U_{su} = U_{s1} \cos \gamma - U_{s2} \sin \gamma;$$

$$U_{sv} = U_{s1} \sin \gamma + U_{s2} \cos \gamma.$$

Напруги U_{su} і U_{sv} являють собою амплітудні значення і не мають гармонічних складових. Значення амплітуди вихідної напруги перетворювача частоти визначається наступним чином:

$$U_{sm} = \sqrt{U_{su}^2 + U_{sv}^2}.$$

Значення частоти обертання координат, тобто частоти вихідної напруги перетворювача частоти, визначається наступним чином:

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.250-09	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\omega_0 = \frac{U_{s1} - i_{s1} R_s}{\Psi_{rm}} = \frac{(U_{sv} - i_{sv} R_s) \cos \gamma - (U_{s1} - i_{s1} R_s) \sin \gamma}{\Psi_{rm}}$$

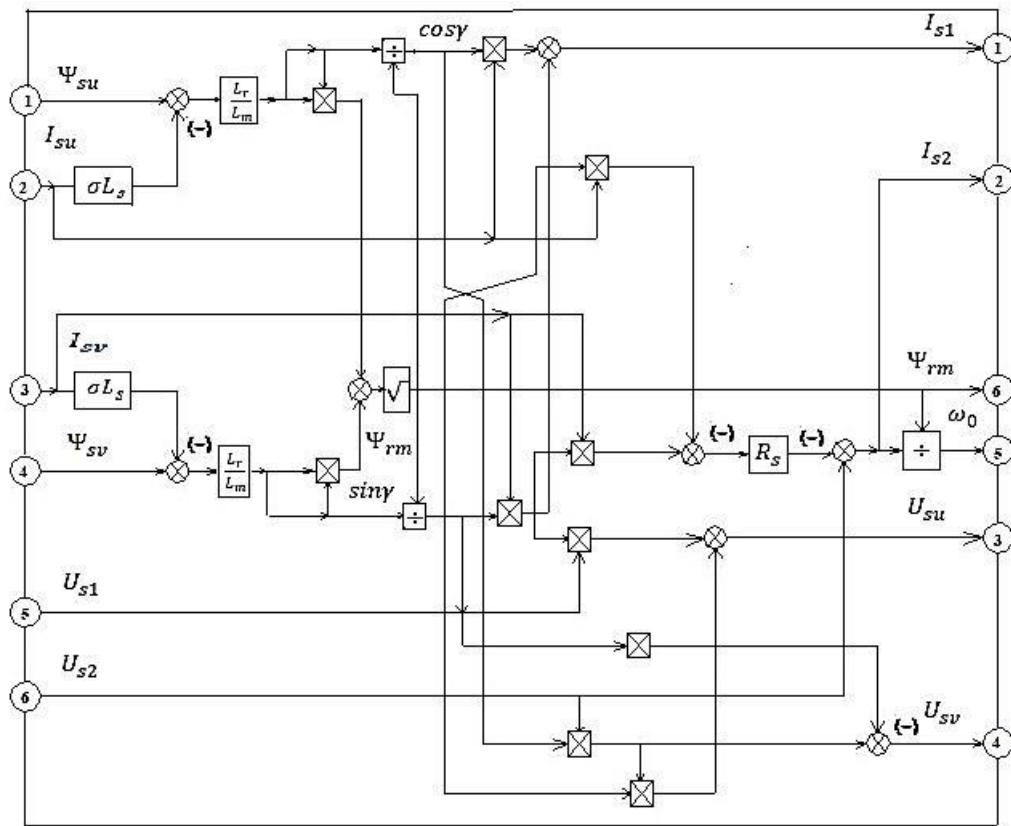


Рис. 2.1.1 Структурна схема перетворення координат

Вихідними параметрами цієї моделі є частота обертання поля статора двигуна ω_0 , модуль потокозчеплення ротору двигуна Ψ_{rm} , складові струму статора I_{s1} , I_{s2} у системі координат (1 - 2) і складові напруги на виході перетворювача частоти U_{su} , U_{sv} у системі координат ($u - v$).

Вхідними керуючими діями є складові потокозчеплення ротору Ψ_{ru} , Ψ_{rv} у вісях ($u - v$), складові струму статора I_{su} , I_{sv} у вісях ($u - v$) і складові напруги на виході перетворювача частоти U_{s1} , U_{s2} у вісях (1 - 2). Ненульові початкові умови у цій моделі відсутні.

2.2. Синтез структури і розрахунок регуляторів системи векторного керування

Система частотно – керованого електропривода не лінійна, тому аналітичний розрахунок регуляторів може бути виконаний наближено. Для попереднього налаштування системи можливо застосувати методику, що приведена у [10].

Оскільки канали регулювання у системі векторного керування розділені, аналіз каналу регулювання потокозчеплення ротору виконується у режимі короткого замикання двигуна, а каналу регулювання моменту і частоти обертання двигуна – у режимі холостого ходу, коли електромагнітні перехідні процеси у каналі регулювання потокозчеплення уже завершені.

У режимі короткого замикання двигуна частота обертання $\omega = 0$, а відповідно, електромагнітний момент асинхронного двигуна також рівний нулю. Це є можливим тільки у випадку, якщо просторовий кут γ між віссю u і вектором потокозчеплення ротору рівний нулю, тобто:

$$\cos\gamma = 1; \sin\gamma = 0.$$

Тоді для складових змінних стану асинхронного двигуна по вісі u справедливі наступні співвідношення:

$$U_{su} = U_{s1} = U_{sm};$$

$$i_{su} = i_{s1} = i_{sm};$$

$$\Psi_{ru} = \Psi_{rm}.$$

А по вісі v складові напруги, струму статора і потокозчеплення ротору рівні нулю.

При цих умовах канал регулювання потокозчеплення ротору асинхронного двигуна описується лінійною системою рівнянь:

$$i_{sm} = \frac{\frac{1}{R_s}(T_r p + 1)}{\sigma T_r T_s p^2 + (T_s + T_r)p + 1};$$

$$\psi_{rm} = \frac{L_m}{T_r p + 1} i_{sm},$$

де $T_s = \frac{L_s}{R_s}$ – електромагнітна постійна часу статорного ланцюга двигуна,
 $T_r = \frac{L_r}{R_r}$ – електромагнітна постійна часу роторного ланцюга двигуна.

Електропривод рудникового електровозу висуває високі вимоги до динамічних режимів роботи, тому канал регулювання потокозчеплення слід виконувати двоконтурним. Регулятор потокозчеплення РЧ у зовнішньому контурі регулювання для астатичної системи виконується у вигляді ПІ – регулятора. Внутрішній канал регулювання складової струму статора i_{s1} будується з ПД – регулятором. При розробці практичних систем векторного керування диференційну складову ПД – регулятора у контурі регулювання складової струму статора i_{s1} , опускають, оскільки величина коефіцієнту розсіювання асинхронного двигуна σ мала. Аперіодичний ланцюг фільтру також можна опустити. Уся система керування при цьому спрощується. Розрахункові і експериментальні дослідження показали [10], що вказані допущення суттєвого впливу на якість регулювання не здійснюють.

Структурна схема спрощеного каналу регулювання потокозчеплення ротору двигуна приведена на рис. 2.2.1.

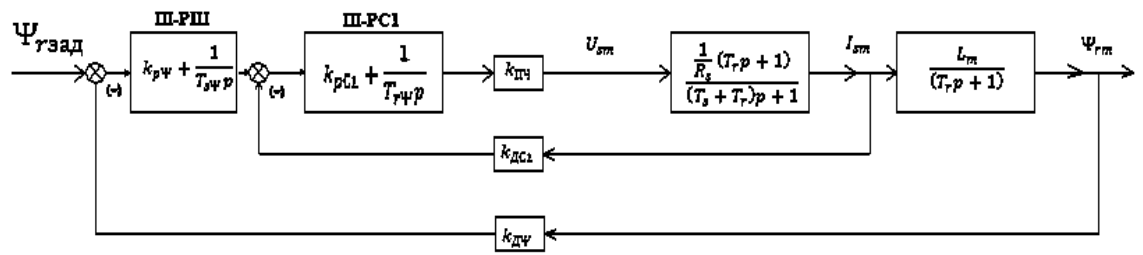


Рис. 2.2.1 Структура каналу регулювання потокозчеплення ротору асинхронного двигуна з двома ПІ – регуляторами

Попередній розрахунок параметрів регуляторів з урахуванням зроблених допущень може бути виконаний за наближеними формулами для регулятора складової струму статора i_{s1} РС1:

$$k_{pT1} \approx \frac{L_s}{T_u k_{пч} k_{dT1}};$$

$$T_{dT1} \approx \frac{T_u k_{пч} k_{dT1}}{R_s}.$$

Для регулятора потокозчеплення ротору двигуну РΨ:

$$k_{v\psi} \approx \frac{T_r k_{dT1}}{2T_u k_{д\psi} L_m};$$

$$T_{u\psi} \approx \frac{2T_u k_{д\psi} L_m}{k_{dT1}}.$$

Якщо величиною коефіцієнту розсіювання двигуна σ знехтувати, то внутрішній контур каналу регулювання кутової швидкості по складовій струму статора i_{s2} можливо побудувати з ПІ – регулятором РС2. Зовнішній контур регулювання швидкості з ПІ – регулятором, якщо немає суворих вимог до статичної похибки регулювання у сталому режимі.

Аналітичний розрахунок регуляторів каналу регулювання швидкості двигуна виконується, виходячи з припущення, що перехідні процеси у каналі регулювання потокозчеплення ротору закінчились. У цьому випадку вираз

для електромагнітного моменту двигуна у системі координат, що орієнтована по вектору потокозчеплення ротору, має вид:

$$M_e = \frac{3L_m}{2L_r} i_{s2} \Psi_{rm}.$$

Складова струму статора знаходиться з виразу:

$$i_{s2} = \frac{R_s (T_r p + 1)}{\sigma T_s T_r p^2 + (T_s + T_r) p + 1} U_{s1n} \sin 2\gamma,$$

де значення $\sin 2\gamma$ визначається наступним чином:

$$\sin 2\gamma = \sqrt{1 - \cos^2 2\gamma} = \sqrt{1 - \frac{R_s^2 \Psi_m^2}{L_m^2 U_{s1n}^2}}.$$

Структурна схема каналу регулювання частоти обертання асинхронного двигуна з П – регулятором швидкості приведені на рис. 2.2.2.

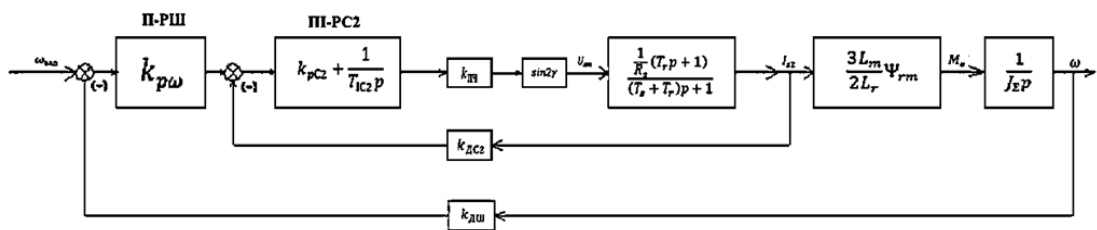


Рис. 2.2.2 Двоконтурна схема каналу регулювання частоти обертання ротору двигуна з П – регулятором швидкості

Розрахунок параметрів ПД – регулятору складової струму статора i_{s2} РС2 виконується з умов налаштування контуру по критерію технічного оптимуму. Вирази для налаштування регулятора маю наступний вид.

Коефіцієнт підсилення ПІ – регулятору РС2:

$$k_{PC2} = \frac{(T_s + T_r) R_s}{2 T_m k_{П1} \sin 2\gamma k_{ДС2}}$$

Постійна часу інтегрування ПД – регулятору РС2:

$$T_{up2} = \frac{2T_{\mu} k_{пч} \sin 2\gamma k_{дс2}}{R_s},$$

де $k_{дс2} = \frac{\omega_{задmax}}{i_{s2max}}$ – коефіцієнт підсилення датчику зворотного

зв'язку по складовій струму статора i_{s2} ; $i_{s2max} = \frac{2L_r M_k}{3L_m \Psi_{1m}}$ – максимальне значення складової струму i_{s2} , що відповідає критичному моменту двигуна M_k .

Коефіцієнт підсилення регулятору швидкості РШ для даної структурної схеми можливо визначити за формулою:

$$k_{рш} = \frac{J_{\Sigma} k_{дс2}}{4T_{\mu} k_{дс2} \Psi_{1m}},$$

де J_{Σ} – сумарний момент інерції ротору двигуна і нерухомої частини

механізму, $k_{дсш} = \frac{\omega_{задш}}{\omega_{rmax}}$ – коефіцієнт підсилення датчика швидкості.

При побудові контуру регулювання швидкості двигуна з ПІ – регулятором РС параметри регулятора можна визначити наступним чином:

$$T_{pc} = 8T_{\mu}, T_{uc} = \frac{32T_{\mu}^2 k_{дс} \Psi_{1m}}{J_{\Sigma} k_{дс2}}.$$

На виходах регуляторів швидкості РШ1 і РШ2 утворюються сигнали, що пропорційні складовим вектору напруги статора двигуна у вісях координат, орієнтованих по вектору потокозчеплення ротору двигуна U_{s1} і U_{s2} . Для переходу із системи координат (1 - 2) у систему координат ($u - v$) застосовується зворотний перетворювач координат у відповідності з наступними рівняннями:

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.250-09	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$U_{su} = U_{s1} \cos \gamma + U_{s2} \sin \gamma;$$

$$U_{sv} = -U_{s1} \sin \gamma + U_{s2} \cos \gamma.$$

Задання амплітуди вихідної напруги перетворювача частоти у електроприводі з векторним керуванням здійснюється у відповідності з виразом:

$$U_{s^{*u}} = \sqrt{U_{su}^2 + U_{sv}^2}$$

Задання частоти вихідної напруги перетворювача здійснюється наступним чином:

$$\omega_0 = \frac{(U_{sv} - R_s i_{sv}) \Psi_{su}}{\Psi_{su}^2 + \Psi_{sv}^2} - \frac{(U_{su} - R_s i_{su}) \Psi_{sv}}{\Psi_{su}^2 + \Psi_{sv}^2}.$$

На рис. 2.2.3 представлена структурна схема динамічної моделі системи керування асинхронним частотно – регульованим електроприводом.

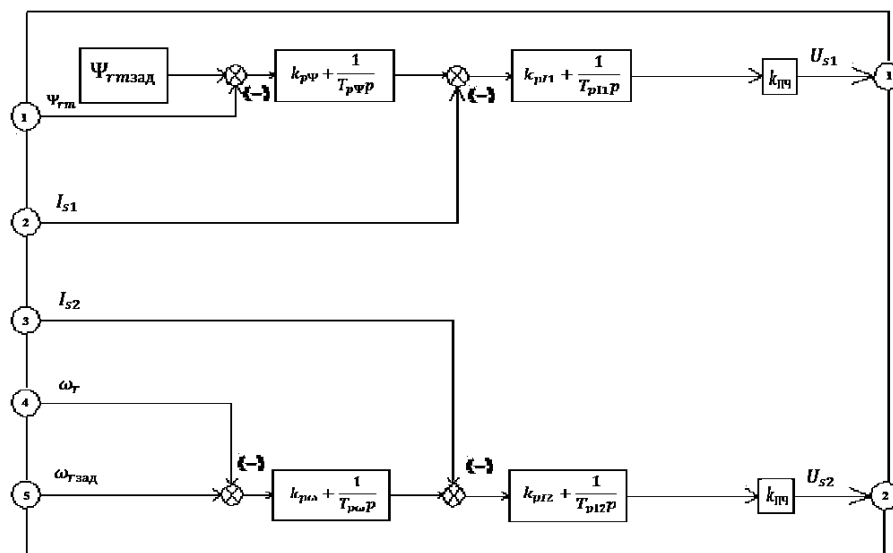


Рис. 2.2.3 Структурна схема системи регулювання векторного керування асинхронним частотно – регульованим електроприводом

Вихідними параметрами цієї моделі є складові напруги на виході перетворювача частоти U_{s1}, U_{s2} у вісях (1 - 2). Вхідними керованими взаємодіями є модуль потокозчеплення ротору двигуна Ψ_{rm} , складові струму статора I_{s1}, I_{s2} у системі координат (1 - 2), частота обертання ротору ω_r і сигнал задання частоти обертання ротору $\omega_{r\text{зад}}$, є вихідним сигналом задатчика інтенсивності. Ненульові початкові умови у цій моделі відсутні. Внутрішні збуджуючі дії являють собою сигнал завдання потокозчеплення ротору двигуна $\Psi_{rm\text{зад}}$.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.250-09	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розділ 3. Моделювання режимів роботи багатодвигунного асинхронного частотно – регульованого електроприводу з системою векторного керування

3.1. Математична модель багатодвигунного асинхронно частотно – регульованого електроприводу з системою векторного керування

Структурна схема математичної моделі для дослідження багатодвигунного безконтактного частотно – регульованого електроприводу з системою векторного керування представлена на рис. 3.1.1.

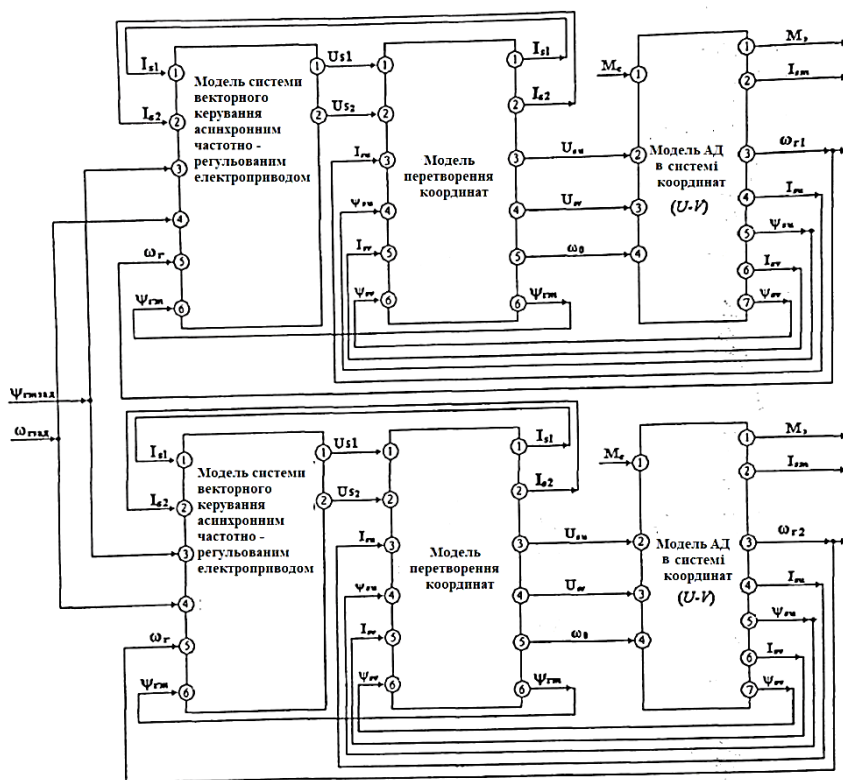


Рис. 3.1.1 Структурна схема математичної моделі багатодвигунного асинхронного частотно – регульованого електроприводу з векторним керуванням

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.250-09		
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дат	Розділ 3		
Розробив	Сіянюк РВ						
Перевірів	Сінчук І.О.				КНУ ЕЕМ-22ск		
Реценз.							
Н. Контр.	Сінчук І.О.						
Затвердив	Пересунько І.І.						
					Літ.	Лист	Листів
						31	9

Вхідними сигналами моделі є завдання по швидкості $\omega_{r\text{зад}}$, по потокозчепленню ротору $\Psi_{r\text{зад}}$ і збудження M_c .

Основними вихідними (дослідженими) параметрами є фактичні швидкості обертання роторів двигунів ω_r , значення потокозчеплень роторів Ψ_{rm} , електромагнітні моменти M_e , амплітудні значення струмів статорів I_{sm} і механічна потужність на валу електроприводів P_M .

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.250-09	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2. Дослідження роботи багатодвигунного асинхронного частотно – регульованого електроприводу з системою векторного керування на математичній моделі

На рис. 3.2.1 і 3.2.2 представлені графіки перехідних процесів у багатодвигунному асинхронному електроприводі з векторною системою керування при пуску електроприводу під навантаженням, різким скиданням і різкому накиді навантаження. Сигнал завдання швидкості обертання роторів АД $\omega_{\text{зад}}$ складає 4В, що відповідає частоті обертання 62,8 рад/с. Навантаження на валах АД нерівномірне, прийняті моменти сил опору 3Нм і 2,4Нм, що складає 20% різниці.

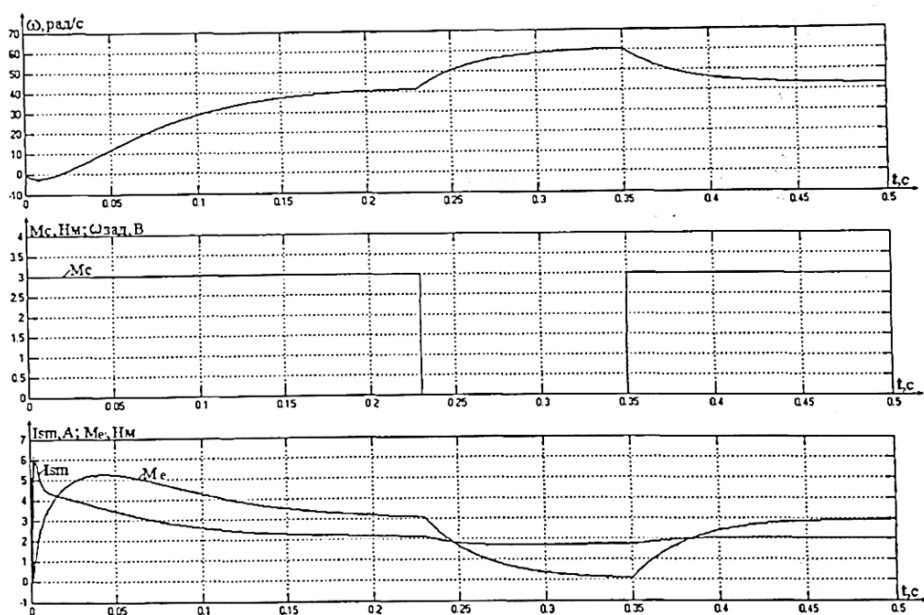


Рис. 3.2.1 Електромеханічні характеристики асинхронного електроприводу при пуску під навантаженням, різкому скиданні і різкому накиді навантаження рівного 3Нм

Різде скидання навантаження було здійснено на обох приводах одночасно у момент часу t рівний 0,23 с. Різкий накид навантаження також було здійснено одночасно на двох приводах при $t=0,35$ с. Загальний час експерименту на моделі склав 0,5 с.

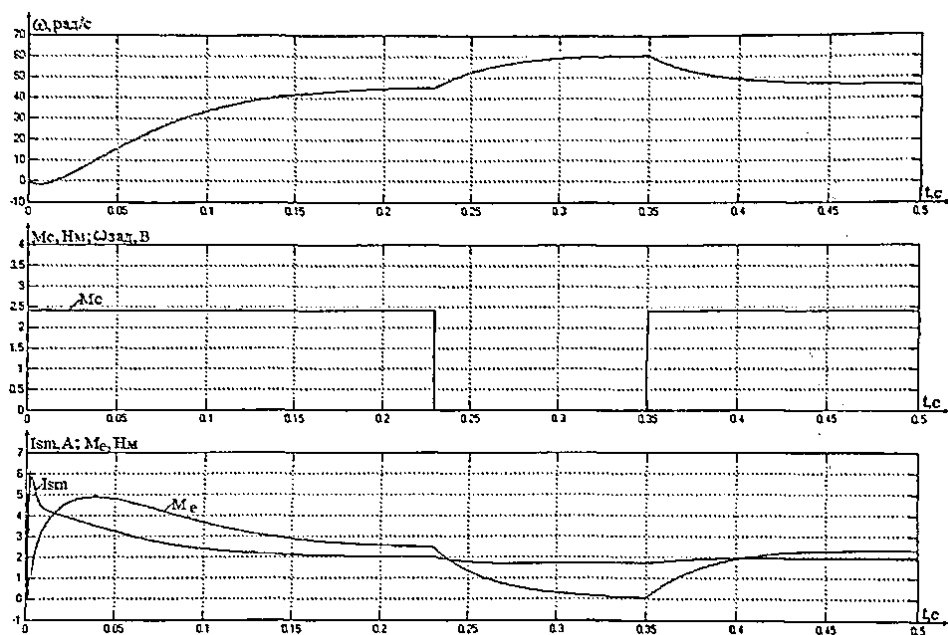


Рис. 3.2.2 Електромеханічні характеристики асинхронного електроприводу при пуску під навантаженням, різкому скиданні і різкому накиді навантаження рівного 2,4Нм

Потокозчеплення роторів АД на усьому часовому діапазоні залишалось на заданому рівні, що відповідає своїм номінальним значенням $\Psi_{rm} = 0,97 \text{ Вб} \cdot \text{В}$. Це означає, що налаштування регуляторів двоконтурного каналу регулювання потокозчеплень роторів виконано задовільно, а відповідно, забезпечена найкраща динаміка електроприводів.

Годографи потокозчеплень роторів АД представлені на рис. 3.2.3.

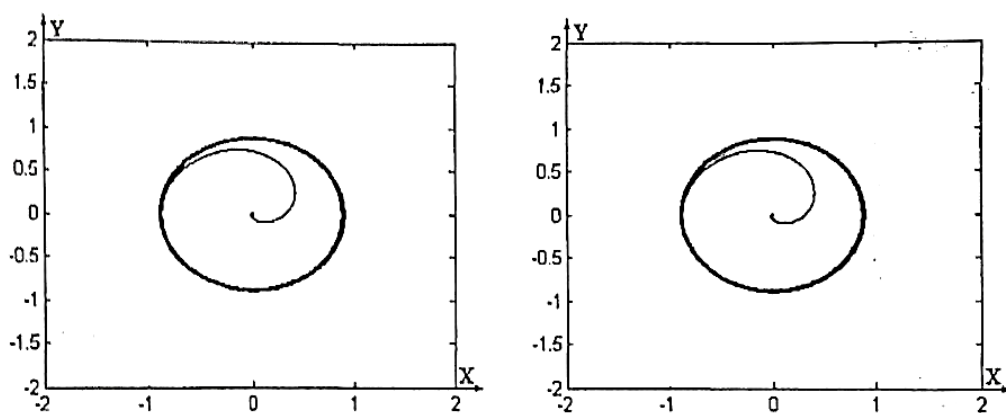


Рис. 3.2.3 Годографи потокозчеплень АД багатодвигунного електроприводу

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Розгін електроприводів під навантаженням здійснюється за $t=0,23$ с, відпрацювання скидання навантаження здійснюється за $t=0,12$ с, а накид навантаження за $0,15$ с. Для електроприводів пускові струми статорів I_{st} склали $6,2$ А і $6,1$ А, що у $3,26$ і у $3,21$ рази вищі номінального значення, у сталому режимі під навантаженням $2,1$ А і 2 А, що у $1,11$ і у $1,05$ рази вище номінального значення, а максимально розвинуті електромагнітні моменти склали $5,25$ Нм і $4,89$ Нм при моментах опору, 3 Нм і $2,4$ Нм відповідно. З графіків видно, що при налаштуванні регуляторів виконаних по методиці описаній у розділі 1.5 відсутнє перегулювання на усьому інтервалі часу.

Отримані результати представлені на рис. 3.2.4 показують, що система векторного керування багатодвигунним асинхронним електроприводом забезпечує високу якість регулювання по ряду показників, однак в умовах нерівномірного навантаження електроприводів багатодвигунної електромеханічної системи наявна значна неузгодженість фактичних швидкостей обертання роторів АД.

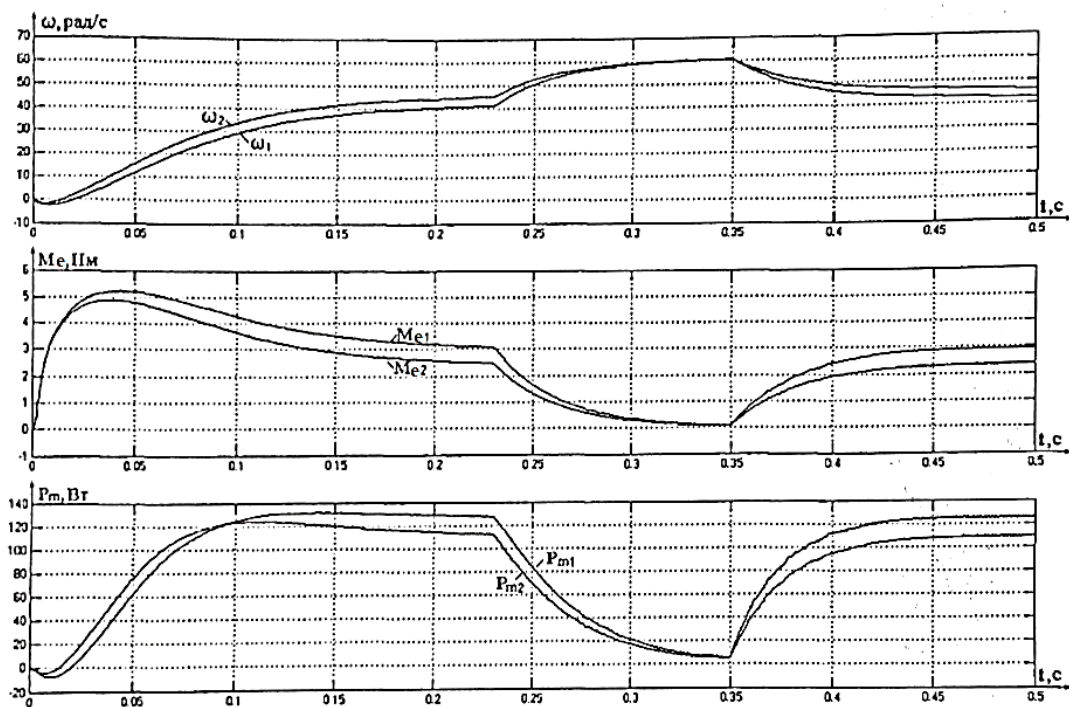


Рис. 3.2.4 Механічні характеристики асинхронних електроприводів багатодвигунної електромеханічної системи

На представлених графіках видно, що стала частота обертання ротору АД при навантаженні 3Нм (ω_1) складає 41,1 рад/с, а при моменті опору 2,4Нм рівна 45,2 рад/с (ω_2). Відхилення від заданої частоти обертання склало 34,5% для ω_1 і 28% для ω_2 . Неузгодженість швидкостей обертання роторів АД склало 9,1%. Неоднаковими вийшли електромагнітні моменти двигунів M_{e1} і M_{e2} і вихідні механічні потужності на валах АД P_{m1} і P_{m2} . Різниця по потужності на валах АД у сталому режимі склала 12,8%.

Схожі результати отримані при накиді і скиді ступінчастого сигналу задання швидкості обертання роторів АД амплітудою 1В, що відповідає частоті обертання 15,7 рад/с, отримано перехідні процеси у багатодвигунному асинхронному електроприводі представлені на рис. 3.2.5, 3.2.6, 3.2.7.

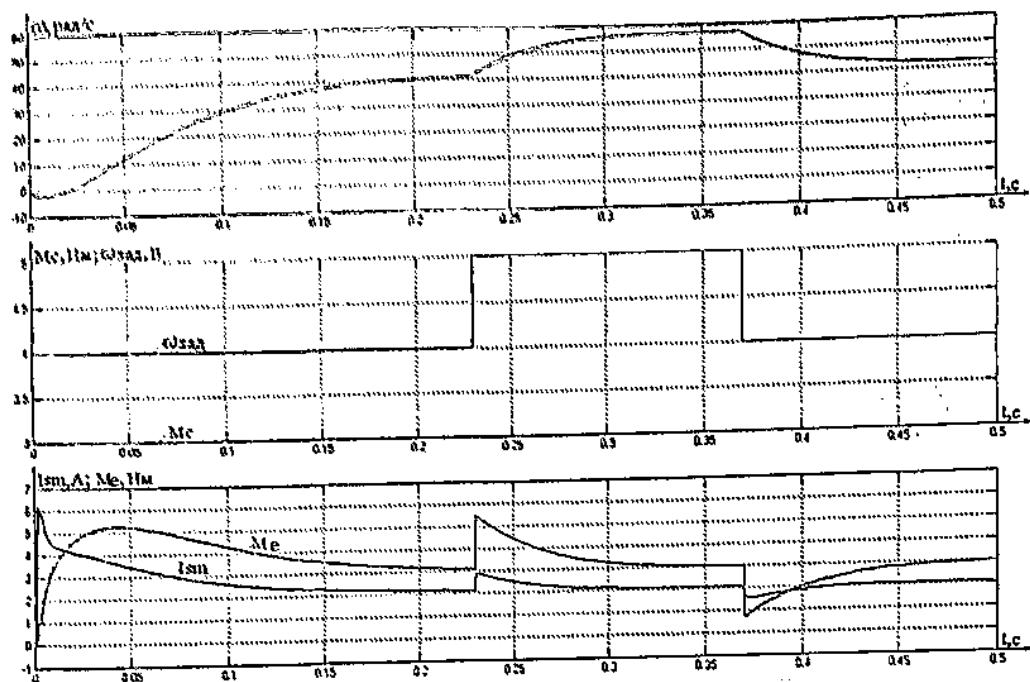


Рис. 3.2.5 Електромеханічні характеристики асинхронного електроприводу з постійним навантаженням 2,4Нм при пуску, накиді і скиді 10% сигналу задання швидкості обертання ротору АД

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.250-09

Арк.

37

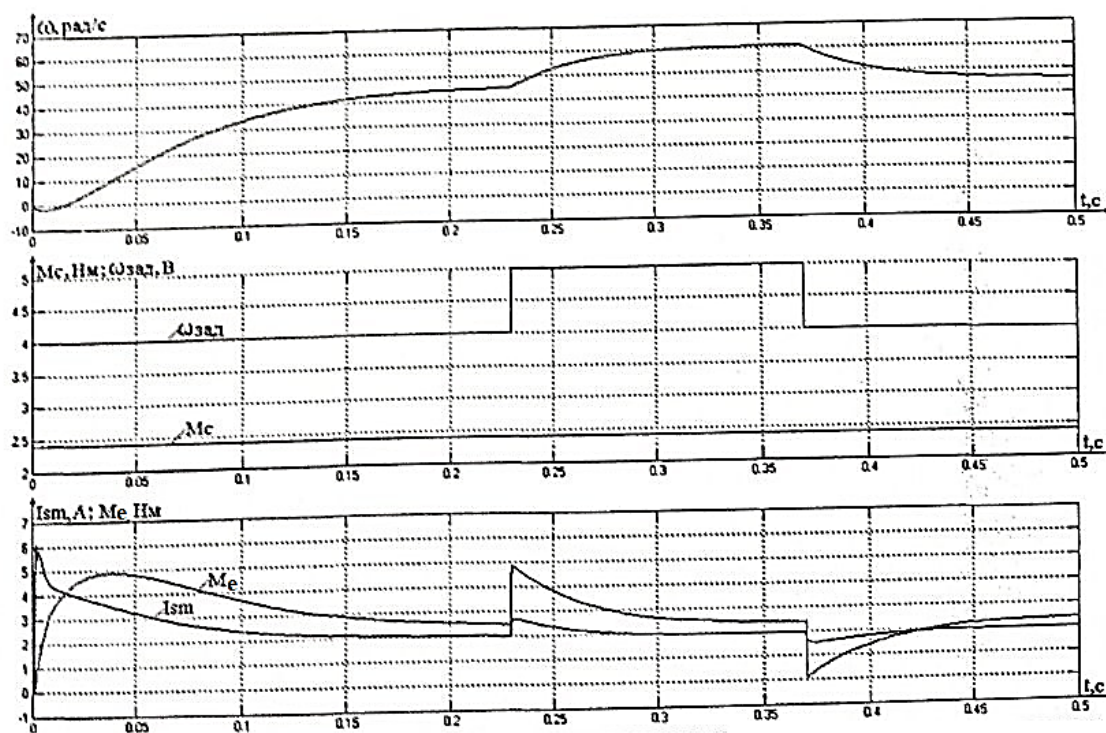


Рис. 3.2.6 Електромеханічні характеристики асинхронного електроприводу з постійним навантаженням 3Нм при пуску, накиді і скиді 10% сигналу задання швидкості обертання ротору АД

Пуск багатодвигунного електроприводу здійснювався при сигналі задання швидкості обертання роторів АД $\omega_{\text{зад}} = 4\text{В}$. Після сталих значень швидкостей обертання роторів АД у момент часу $t=0,23\text{ с}$ до задання швидкості обертання роторів АД було додано додатковий ступінчастий сигнал з амплітудою 1В (10% від максимального сигналу задання). Моменти опору на валах АД багатодвигунної електромеханічної системи, як і в попередньому випадку склали 3Нм і 2,4Нм. Відпрацювання ступінчастого накиду сигналу задання потребувала 0,14 с. У момент часу $t=0,37\text{ с}$ ступінь сигналу був прибраний. Відпрацювання ступінчастого скиду сигналу задання зайняло 0,13 с.

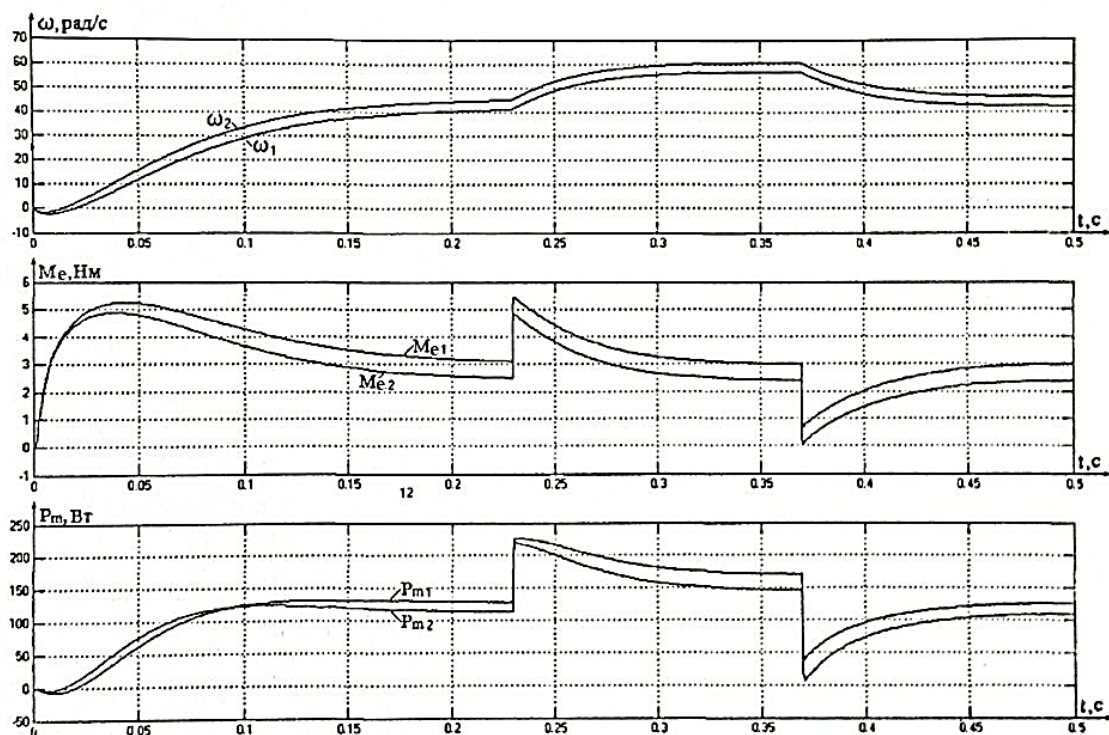


Рис. 3.2.7 Електромеханічні характеристики асинхронного електроприводу з постійним навантаженням 3Нм і 2,4Нм на валах АД при пуску, накиді і скиді 10% сигналу задання швидкості обертання ротору АД

Перехідні процеси при накиді / скиді ступінчастого сигналу задання швидкості обертання роторів АД пройшли без перегулювання.

Сталі швидкості обертання роторів АД при накиді ступені склали 56,8 рад/с і 60,9 рад/с, що складає 27,6% і 22,4% відхилення від заданого значення при навантаженнях 3Нм і 2,4Нм відповідно.

Неузгодження швидкостей електроприводів склало 6,7%. Для електроприводу з навантаженням 2,4Нм, фактичне значення швидкості обертання ротору, отримане при накиді ступеню 1В, виявилось практично рівним значенню заданої швидкості обертання до накиду ступеню. Різниця вихідних потужностей при накиді ступеню задання склала 13,9%.

Таким чином, у умовах нерівномірності навантаження на асинхронні електроприводи багатодвигунної електромеханічної системи, зі зростанням сигналу задання швидкості обертання роторів АД знижується відхилення

фактичної швидкості обертання від заданого значення і неузгодження швидкостей обертання між електроприводами, а значення вихідної потужності на валах АД зростає.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.250-09	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки

Бакалаврська дипломна робота присвячена роботі тягового електроприводу рудникових електровозів з застосуванням векторного керування при умовах нерівномірного навантаження з можливістю змінювати сигнали завдання індивідуально для кожного електроприводу.

Об'єкт дослідження – багатодвигунний електропривод електровозу з векторним керуванням.

Мета роботи – дослідити можливості роботи багатодвигунного частотно – регульованого електроприводу з системою векторного керування на розрахунково – математичній моделі у середовищі Matlab Simulink.

Практичне значення полягає у застосуванні на нижньому рівні векторного керування для тягових двигунів електровозів, а для верхнього рівню сформулювати якісні сигнали завдання швидкості обертання індивідуального для кожного з електроприводів на основі математичного апарату нечіткої логіки.

Пояснювальна записка до бакалаврської роботи складається з: анотації, , розділу, висновків, літератури.

У анотації зазначено основні характеристики, структуру, перелік наявного електротехнічного обладнання електровозу.

У роботі розглядається структура, методи і засоби, що необхідні для сталого і надійного електропостачання та функціонування рудникових електровозів, описано математичний апарат роботи асинхронних електроприводів, розроблено та побудовано математичну модель ШІМ, а також вирішено наукову задачу на основі експертних оцінок системи керування тягового електроприводу електровозу на основі теорії нечітких множин і не чіткої логіки.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.250-09	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У висновках приведено аналіз проведеної роботи та отримані відповідні очікувані результати у бакалаврській роботі.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.250-09	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Список використаних джерел

1. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи: Навч. посібник / М. Г. Попович, О. Ю. Лозинський, М. Б. Клепіков та ін. – К.: Либідь, 2005. – 680 с.
2. Теорія мехатронних систем – 1: Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи для студентів заочної форми навчання напряму підготовки 6.050702 – "Електромеханіка" спеціальності "Електромеханічні системи автоматизації та електропривод" / Уклад: С. М. Пересада, С. М. Ковбаса. –К.: НТУУ "КПІ", 2011 р. –96 с.
3. Автоматизація електромеханічних систем. Курсовий проект. Методичні вказівки до виконання курсового проекту для студентів напрямку підготовки 6.050702 – "Електромеханіка" спеціальності "Електромеханічні системи автоматизації та електропривод" / Уклад: С. М. Пересада, С. М. Ковбаса, С. С. Димко –К.: НТУУ "КПІ", 2014 р. 43 с.
4. Жеребкин Б.В. Синтез структуры системы векторного управления тяговых электромеханических комплексов двусных электровозов / Б.В. Жеребкин, Д.А. Шокарев, Е.И. Скапа // Електромеханічні і енергозберігаючі системи: щоквартальний науково-виробничий журнал. – Кременчук: КрНУ, 2011. – Вип. № 4/2011(16). – С.17–21.
5. Основи ефективного використання електричної енергії в системах електроспоживання промислових підприємств: навч. посіб. / [Соловей О. І., Розен В. П., Плешков П.Г. та ін.]; М-во освіти і науки України, Кіров. нац. техн. ун-т. – Черкаси: вид. Чабаненко Ю., 2015. – 316 с.
6. Енергоощадження засобами промислового електропривода: навч. посібник / О. М. Закладний, А. В. Праховник, О. І. Соловей. – К.: Кондор, 2005. – 408 с.
7. Електропривод. Підручник / за ред. Лавриненка Ю.М. – К.: Ліра. – 2009. – 540 с.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.250-09	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

8. Основи електроприводу: методичні вказівки до лабораторних робіт / Укл.: С. В. Серебренніков, О. А. Козловський. – Кіровоград: КДТУ, 2003. – 85 с.

9. Телемеханіка та автоматизовані системи управління в електроенергетиці: навч. посіб. / [Плешков П.Г., Серебренніков С.В., Петрова К.Г.] ; М-во освіти і науки України, Кіров. нац. тех. ун-т. – Кіровоград : КНТУ, 2016. – 167 с.

10. Experimental investigation of technical and operational indices of asymmetric swath reaper machine-and-tractor aggregate / V.Bulgakov, V. Adamchuk, S. Ivanovs, H. Kaletnik. // Engineering for Rural Development SNIP -. – 2019. – №18. – С. 256–263.

11. Видмиш А. А. Основи електропривода. Теорія та практика / А. А. Видмиш, Л. В. Ярошенко. – Вінниця: Твори, 2020. – 391 с. – (навчальний посібник).

12. Statistical express control of the peak values of the differential-thermal analysis of solid materials / A.Semenov, S. Baraban, O. Voznyak, A. Vydmysh. // Solid State Phenomena SNIP 0.332. – 2019. – №291. – С. 28–41.

13. Матвійчук В А., Стаднік М І., Рубаненко О О. Електропривод виробничих машин і механізмів. Навчальний посібник з виконання курсової роботи для спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». / Вінниця: ВНАУ, 2016.- с.92.

14. Ярошенко Л В. Лабораторний практикум з електропривода та електрообладнання: Навчальний посібник. – Вінниця: РВВ ВНАУ, 2010. – 192 с.

15. Інтелектуалізація електроенергетичних систем. Теорія. Лабораторні роботи. Практичні заняття / М. І. Стаднік, А. А. Видмиш, А. А. Штуць, А. А. Колісник. – Вінниця: ВНАУ, 2019. – 277 с. – (Навчально-методичний посібник).

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.250-09	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

16. Пивняк Г. Г. Автоматизация однородных объектов управления / Г. Г. Пивняк, Н. І. Стадник, В. В. Ткачев. – Днепропетровск: Национальный горный университет, 2007. – 160 с. – (Монографія).

17. Автоматизована система обліку електричної енергії з контролем якості показників якості. Васильченко В.І., Гриб О.Г., Светелик О.Д., Тесик Ю.Ф. Енергетика та електрифікація, №11, 2013.

18. Технічні засоби автоматизації / [В. В. Ткачов, М. І. Стадник, В. І. Шеченко та ін.]. – Дніпро: НТУ «Дніпровська політехніка», 2018. – 142 с. – (Навчальний посібник).

19. Попович М.Г. Лозинський О.Ю., Буртний В.В., Панченко Б.Я., Місюренко В.О. та ін. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи / За ред. М.Г.Поповича, О.Ю. Лозинського. – К.:Либідь 2005. –679с.

20. Теорія електроприводу. Методичні вказівки до курсового проекту "Розрахунок робочих параметрів і характеристик режимів пуску і гальмування електропривода з асинхронним двигуном" для студентів спеціальності 7.092206 і 7.092501. / А.В. Гнатов, В.І. Калмиков, – Х.: ХНАДУ, 2008. – 31 с.

21. Лазарєв Ю. Ф. Електронний навчальний посібник з курсового і дипломного проектування. – К.: НТУУ "КПІ", 2013. – 132 с.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.250-09	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		